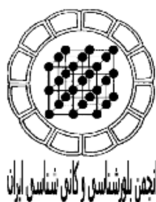
مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران

مقاله پژوهشی

سال بیست و هشتم، شمارهٔ سوم، پاییز ۹۹، از صفحهٔ ۵۴۱ تا ۵۵۶



زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی و زمین‌شیمی در رخداد کانه‌زایی مس± طلای چشمه‌زاغ، استان خراسان رضوی: شواهدی از کانی‌سازی احتمالی نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد

آزاده ملکزاده شفارودی*[1]، عباس اعتمادی[2]

۱- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۹۸/۶/۲۰، نسخه نهایی: ۹۸/۹/۲)

چکیده: منطقه چشمه زاغ در استان خراسان رضوی و در بخش جنوبی پهنه سبزوار که از پهنه‌های فلززایی مهم ایران است، قرار دارد. سنگ‌شناسی منطقه شامل تنوعی از سنگ‌های آتشفشانی (داسیت تا بازالت)، توده‌های نفوذی (گابرو تا سینوگرانیت) وابسته به کرتاسه پسین و انواع سنگ‌های رسوبی الیگومیوسن و کواترنری است. دگرسانی‌های گسترده ای از پروپلیتی، کلریتی و اپیدوتی منطقه را فراگرفته است، اما کانه‌زایی اصلی در قالب دو پهنه عدسی‌شکل دیده می‌شود که بوسیله دگرسانی‌های آرژیلی و سیلیسی-سرسیتی احاطه شده‌اند. کانه‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت و کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، کوولیت و اکسیدهای آهن است. بیشینه مقدار عناصر در پهنه‌های اصلی کانی‌سازی شامل ۱/۵ درصد مس، ۲۲۳۰ ppb طلا، ۴۰ ppm مولیبدن، ۳۶۳ ppm سرب و ۷۳۸ ppm روی است. محیط زمین‌ساختی در ارتباط با تشکیل پهنه سبزوار، حضور تعداد زیادی از نهشته‌ها و کانسارهای مس و منگنز در ارتباط با فعالیت آتشفشان‌های زیردریایی در منطقه و همراهی کانی‌سازی منطقه چشمه زاغ با واحدهای آتشفشانی داسیتی با دگرسانی‌های شاخص، همه می‌تواند نشانگر خاستگاه احتمالی سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نوع دوگانه فلسی (کروکو) برای این کانسار باشد. پهنه ساختاری سبزوار پتانسیل پسین برای اکتشاف این نوع ذخایر دارد که باید مورد توجه قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: *کانی‌سازی؛ زمین‌شیمی؛ کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد؛ چشمه زاغ؛ پهنه سبزوار.*

مقدمه

کانسارهای نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد به صورت عدسی-های سولفیدی چندفلزی در محیط‌های آتشفشانی زیردریایی و از سیال‌های گرمابی غنی از فلز در اثر جریان همرفتی روی مناطق تغذیه‌کننده یا پهنه رگه-رگچه‌ای تشکیل می‌شوند. سنگ میزبان آنها هم می‌تواند از نوع آتشفشانی و هم رسوبی باشد [۱]. به تازگی این کانسارها بر اساس نوع محیط زمین ساختی، ترکیب سنگ میزبان و نوع ماده معدنی [۲، ۳] به ۵ گروه ۱) دوگانه مافیک، ۲) مافیک، ۳) مافیک پلیتی، ۴) دوگانه فلسی و ۵) سیلیسی -آواری فلسی تقسیم می‌شوند.

زیرپهنه سبزوار به دلیل رخداد کمربند افیولیتی در زمان کرتاسه پسین در یک محیط کششی پشت کمانی [۴]، محیط مناسبی برای تشکیل کانسارهای منگنز برونِدمی و مس (سرب + روی + طلا) نوع سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد است که بیشتر در جنوب غرب سبزوار و در ارتباط با توالی‌های آتشفشانی-رسوبی کرتاسه هستند. از آن جمله می‌توان به مناطق مس نوده [۵]، کانسار منگنز نخلک [۶]، نهشته مس-منگنز کوه قطربونه، کانسار مس-نقره گرماب پایین [۷]، نهشته مس سلم-رود، کانسار کائولن اسبکشان، کانسار منگنز شمال‌شرق اسبکشان [۸]، نهشته مس ایزدپناه و کانسار منگنز کرمی اشاره کرد. گسترش سرباره‌های قدیمی در منطقه نشان‌دهنده سابقه و رونق معدنکاری در گذشته است.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۵۱۳۸۸۰۵۴۸۸، نمابر: ۰۵۱۳۸۷۹۶۴۱۶، پست الکترونیکی: shafaroudi@um.ac.ir

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]

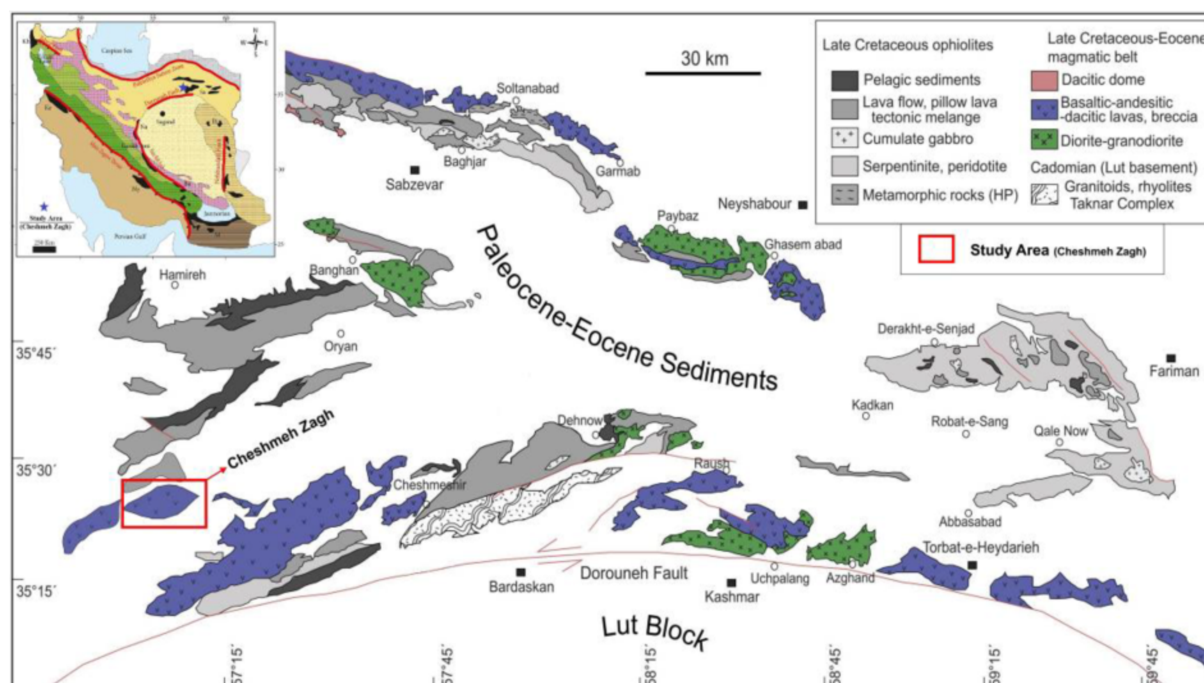
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]

منطقه اکتشافی چشمه زاغ با مساحت ۴۰ کیلومتر مربع، در فاصله حدود ۸۰ کیلومتری جنوب غرب شهرستان سبزوار، در گستره طول‌های جغرافیایی ″۴۵ ´۰۰ °۵۷ تا ″۴۷ ´۰۵ °۵۷ و عرض‌های جغرافیایی ″۲۴´۲۲ °۳۵ تا ″۱۴´۲۵ °۳۵ واقع است [۹،۱۰] (شکل ۱). وجود آثار در ارتباط با معدنکاری قدیمی (شدادی) و حفر چاهک‌ها در پهنه‌های سولفیدی، نشان می‌دهد که عملیات استخراج در بخش‌هایی که به احتمال بسیار کانی-سازی عمقی پرعیارتری داشته‌اند، صورت گرفته است. با وجود این، تاکنون هیچ بررسی علمی دقیقی بر سنگ‌نگاری، دگرسانی، کانی‌سازی و زمین‌شیمی منطقه انجام نشده است. در این پژوهش، زمین‌شناسی منطقه و واحدهای سنگی، کانی-سازی، دگرسانی واحدهای مختلف به ویژه سنگ میزبان کانه-زایی و زمین‌شیمیایی خرده‌سنگی در منطقه چشمه زاغ بررسی شده است. با توجه به گسترش کانی‌سازی‌های مس و منگنز در توالی‌های آتشفشانی-رسوبی حوضه جنوب غرب سبزوار، پژوهش پیرامون منطقه اکتشافی چشمه زاغ می‌تواند نقش مهمی در اکتشاف ذخایر مشابه در منطقه داشته باشد.

زمین‌شناسی

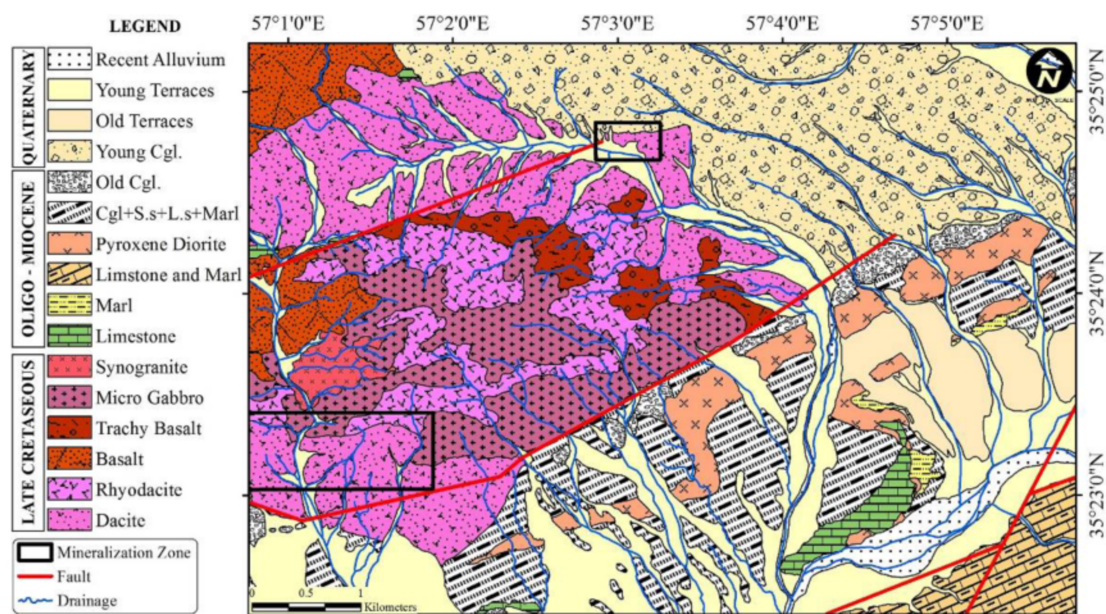
منطقه مورد بررسی بخشی از کمربند افیولیتی سبزوار واقع در شمال ایران مرکزی (شمال گسل کویر بزرگ و جنوب گسل میامی) است [۱۱] که حوضه رسوبی کپه داغ در شمال را از فلات ایران مرکزی در جنوب جدا می‌کند. زیرپهنه سبزوار از پهنه‌های چندگانه خردقاره ایران مرکزی است که به دلیل رخداد کمربند افیولیتی (مربوط به کرتاسه پسین در یک محیط کششی پشت کمانی) مورد توجه است. این حوضه اقیانوسی در زمان کرتاسه پسین و در یک محیط کششی پشت کمانی تشکیل شده [۴] و شامل حجم زیادی از سنگ‌های فرامافیک، توده‌های کوچک گابرویی و ترادفی ضخیم از گدازه‌های بازالتی زیردریایی همراه با آهک‌های لجه‌ای کرتاسه پسین و رادیولاریت است که بطور دگرشیب و با یک قاعده کنگلومرایی توسط سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی پوشیده شده‌اند [۱۲].

منطقه چشمه زاغ در بخش غربی نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر [۱۳] و شمال غرب نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ درونه [۱۴] قرار دارد. بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی این نقشه‌ها، سنگ شناسی عمده منطقه شامل آندزیت سبز-توف-رادیولاریت کرتاسه پسین، مارن‌های سبز نوع فیلیش-ماسه سنگ-کنگلومرا-توف پالئوژن و رخنمون‌های کمتری از سنگ آهک گلوبوترونکانادار کرتاسه پسین است. براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای سنگی در منطقه چشمه زاغ را می‌توان به سه بخش تقسیم نمود (شکل ۲) که در ادامه توضیح داده می‌شوند.



شکل ۱ نقشه زمین‌شناسی منطقه سبزوار-فریمان در شمال گسل درونه با تاکید بر پراکندگی رخنمون‌های افیولیتی و وابسته به کمان‌های کرتاسه پسین-ائوسن و کادومین (برگرفته از مرجع [۹] با تغییرات). منطقه مورد بررسی در جنوب غرب زیرپهنه سبزوار از پهنه ایران مرکزی قرار دارد (نقشه داخلی برگرفته از مرجع [۱۰] است).

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از منطقه اکتشافی چشمه زاغ. کنگلومرا:Cgl، ماسه‌سنگ:S.s و سنگ آهک:L.s

۱) قدیمی‌ترین واحدها، وابسته به زمان کرتاسه پسین و شامل گستره‌ای از واحدهای آتشفشانی اسیدی (داسیت و ریوداسیت) و مافیک (بازالت و تراکی‌بازالت) و توده‌های نفوذی مافیک و اسیدی (میکروگابرو و سینوگرانیت) هستند که ارتفاعات نیمه غربی منطقه را دربرمی‌گیرند. واحدهای میکروگابرو با بافت به نسبت دانه‌ریز و تیره رنگ متمایز از واحدهای آتشفشانی داسیتی و ریوداسیتی و واحد نفوذی سینوگرانیت با رنگ روشن و بافت دانه‌درشت دیده می‌شوند. افزون بر میکروگابروها، واحدهای آتشفشانی مافیک مانند بازالت و تراکی بازالت در ارتفاعات رخنمون دارند (بافت ریزبلور و تیره) که به دلیل دگرسانی‌های اپیدوتی و کلریتی، در نمونه دستی رنگی مایل به سبز از خود نشان می‌دهند. کانی‌سازی منطقه بیشتر همراه با واحد داسیتی است که در اثر دگرسانی‌های کلریتی و اپیدوتی در مقیاس ناحیه‌ای و آرژیلی و سیلیسی-سرسیتی در مقیاس محلی قرار گرفته‌اند.

۲) واحدهای رسوبی وابسته به زمان الیگومیوسن شامل کنگلومرای قدیمی، ماسه‌سنگ، سنگ آهک و مارن همراه با میان لایه‌ای از سنگ‌های آذرین نفوذی با ترکیب پیروکسن دیوریت بوده که در راستای شمال شرق-جنوب غرب هستند و با یک مرز از نوع گسل راندگی از ارتفاعات بخش غربی منطقه جدا می‌شوند. این مجموعه، رخنمون‌های پست جنوب شرق منطقه را دربر می‌گیرند که به طور محلی با رسوب‌های عهد حاضر و جوان پوشیده شده‌اند. واحدهای رسوبی به رنگ روشن و با لایه‌بندی نمایان از میان‌لایه واحد آذرین با بافت دانه‌ریز و تیره متمایز هستند. این دو مجموعه (گروه ۱ و ۲)، گسترش به نسبت زیادی دارند و حدود ۸۰ درصد منطقه را پوشش می‌دهند.

۳) جدیدترین واحدهای رخنمون‌یافته در منطقه شامل واحد کنگلومرای جوان (رخنمون بسیار در شمال شرق منطقه) به همراه تراست‌ها و رسوب‌های عهد حاضر (دربرگیرنده فضاهای بین واحدهای رسوبی الیگومیوسن) است. از این میان، کنگلومراهای جوان با روند شمال غرب – جنوب شرق و پستی و بلندی تپه‌ای شکل، واحدهای قدیمی‌تر داسیتی و واحدهای رسوبی را پوشانده‌اند.

روش بررسی

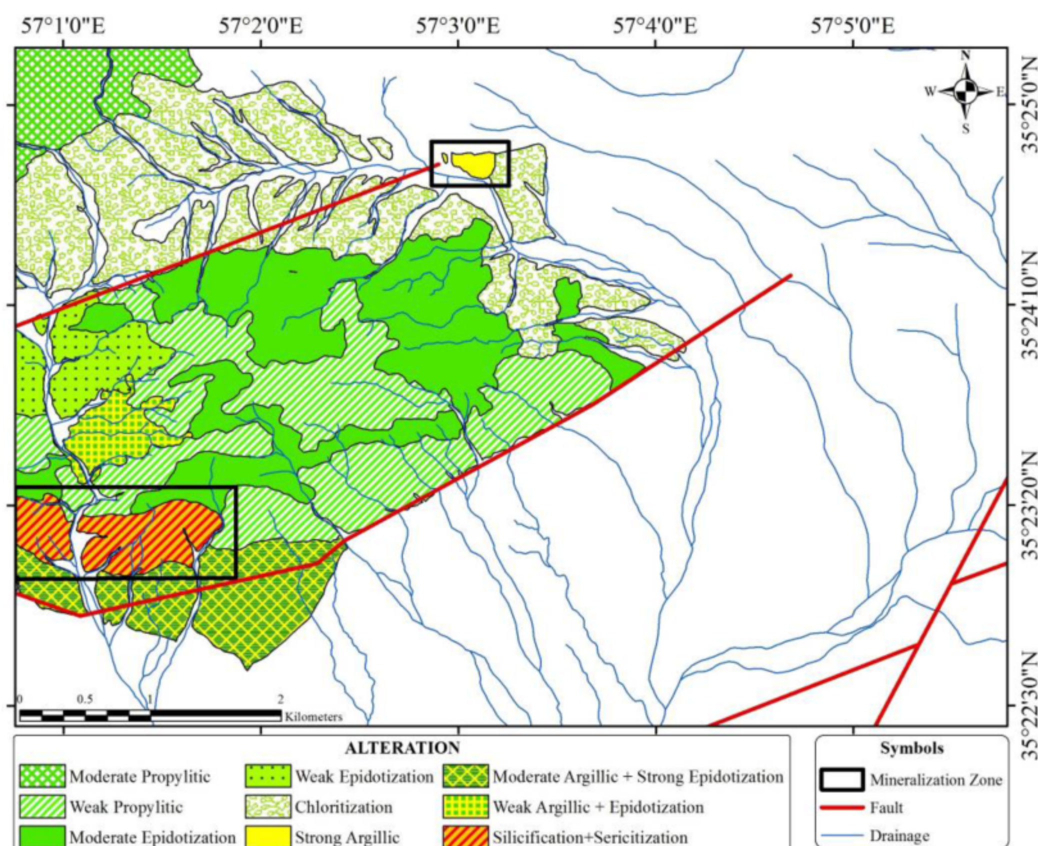
این پژوهش، بر پایه پیمایش صحرایی، تهیه و بررسی مقاطع نازک، نازک صیقل و قطعه‌های صیقلی، بررسی‌های زمین-شیمیایی و تفسیر داده‌ها در منطقه‌ای به مساحت ۴۰ کیلومتر مربع انجام شد. بر این اساس، به منظور تهیه نقشه‌های زمین-شناسی و دگرسانی، از میان همه نمونه‌های برداشت شده از واحدهای سنگی مختلف، تعداد ۴۵ نمونه انتخاب و از آنها مقطع نازک تهیه و بررسی شد. بررسی‌های کانه شناسی نیز در دانشگاه فردوسی مشهد و به وسیله میکروسکوپ دو منظوره Olympus، بر ۱۵ قطعه صیقلی و نازک صیقلی تهیه شده از

نمونه‌های دارای کانی‌سازی انجام شد. برای بررسی تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر در پهنه‌های کانی‌سازی و همچنین تهیه نقشه‌های زمین‌شیمیایی عناصر مس، طلا، سرب و روی، تعداد ۴۳ نمونه خرده سنگی از پهنه‌های اصلی کانی‌سازی منطقه به صورت هدفمند برداشت و تجزیه شد و تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر ردیاب، فلزی و همچنین طلا (۳۲ نمونه) به روش آکوارجیا (ME-01) و عیارسنجی گرمایی در آزمایشگاه تجزیه مواد معدنی زرآزما بررسی گردید. پردازش داده‌های زمین-شیمیایی در محیط نرم افزار SPSS انجام شد و در تهیه نقشه-های زمین‌شناسی، دگرسانی و زمین شیمیایی از نرم افزار Arc Gis نسخه 10.4 استفاده گردید.

دگرسانی

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی و کانی‌شناسی انجام شده بر نمونه‌های سنگی برداشت شده، انواع دگرسانی‌های پروپیلیتی، اپیدوتی، کلریتی، آرژیلی و سیلیسی-سرسیتی در منطقه اکتشافی چشمه زاغ رخنمون دارند (شکل ۳). دگرسانی پروپیلیتی، از گسترده‌ترین انواع دگرسانی‌های موجود است که با شدت‌های ضعیف و متوسط در واحدهای بازالتی و میکروگابرویی منطقه دیده می‌شود (شکل ۳). در واحد بازالتی، حفره‌ها با اپیدوت و کلسیت پر شده‌اند (شکل‌های ۴ الف و ب) و کلریت در زمینه به صورت انباشتی دیده می‌شود. در واحد میکروگابرویی نیز، کانی پیروکسن در نمونه‌های مختلف بین ۱۰ تا ۳۰ درصد به کلریت و ۵ درصد به اکسید آهن تبدیل شده است.

دگرسانی اپیدوتی بیشتر در بخش‌های شمالی ارتفاعات غرب منطقه گسترش دارد (شکل ۳) و به دو زیررده با شدت متوسط و ضعیف تقسیم می‌شود. دگرسانی اپیدوتی با شدت متوسط مربوط به واحدهای ریوداسیت و تراکی بازالت دامنه شمالی ارتفاعات و انواع با شدت ضعیف‌تر همراه با رخنمون واحد بازالتی واقع در غرب منطقه است. از آنجا که غالب سنگ میزبان این نوع دگرسانی را سنگ‌های ریوداسیت با رنگ به نسبت روشن (لوکوکرات) در بر می‌گیرند، رنگ سبز ناشی از دگرسانی اپیدوتی متوسط به خوبی در رخنمون‌های صحرایی و نمونه‌های دستی آنها، قابل مشاهده است (شکل ۴ پ).

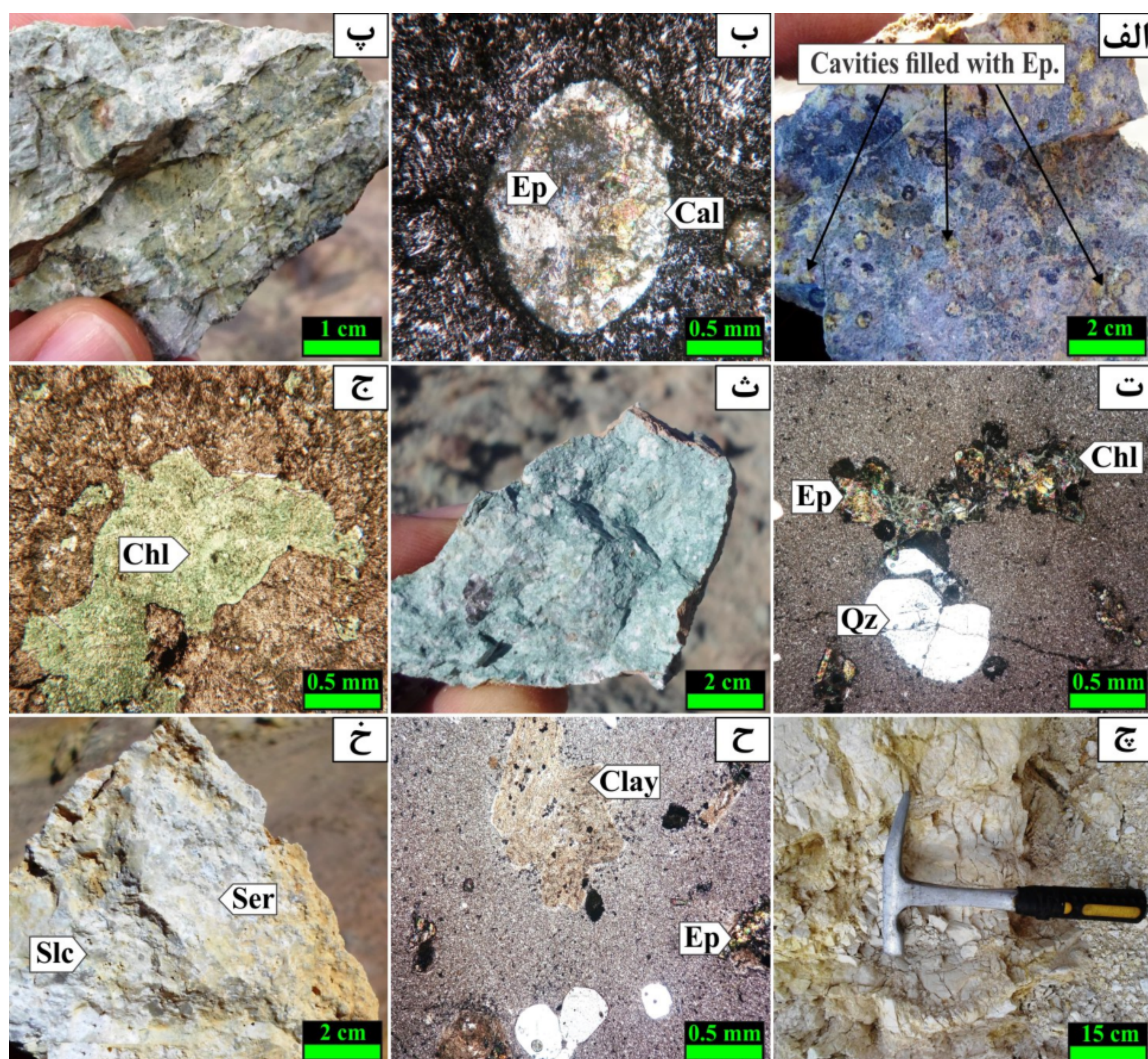


شکل ۳ نقشه دگرسانی منطقه اکتشافی چشمه زاغ.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]



شکل ۴ انواع دگرسانی در منطقه چشمه زاغ: الف) حفره‌های پر شده با کانی اپیدوت (Ep) در واحد بازالت، ب) تصویر میکروسکوپی از بافت بادامکی که با کلسیت (Cal) و اپیدوت پر شده است، پ) نمونه دستی از دگرسانی اپیدوتی واحد ریوداسیت، ت) تصویر میکروسکوپی از کانی اپیدوت در قالب دگرسانی اپیدوتی واحد ریوداسیت (نور قطبیده متقاطع، XPL)، ث) نمونه دستی از واحد داسیتی با دگرسانی کلریتی، ج) تصویر میکروسکوپی از کانی ثانویه کلریت (Chl) که به صورت فراگیر در متن سنگ حضور دارد، چ) رخنمون‌های سطحی پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه با دگرسانی از نوع آرژیلی شدید، ح) دگرسانی آرژیلی ضعیف + اپیدوتی ضعیف در قالب تجزیه پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی (Clay) و حضور اپیدوت پراکنده در متن سنگ، خ) نمونه دستی از دگرسانی سیلیسی (Slc)-سرسیتی (Ser) وابسته به پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه. (نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۵]).

بر اساس بررسی‌های میکروسکوپی، اپیدوتی‌شدن بیشتر در قالب حضور رگچه‌های اپیدوت و کمتر به صورت پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود (شکل ۴ ت)، در حالیکه اپیدوت در واحد بازالتی بیشتر به صورت پراکنده و به شکل بادبزنی درون حفره‌های سنگ دیده می‌شود. در واحد ریوداسیت، کانی پلاژیوکلاز به مقدار ۲۰ تا ۳۰ درصد به اپیدوت و ۱۰ تا ۳۰ درصد به سرسیت تجزیه شده‌اند؛ در صورتی‌که مقدار تجزیه کانی پلاژیوکلاز به اپیدوت در واحد بازالتی بین ۱۰ تا ۲۰ درصد است.

دگرسانی کلریتی مانند پروپیلیتی از گسترده‌ترین دگرسانی‌های موجود در منطقه چشمه زاغ و مربوط به رخنمون واحد داسیتی واقع در شمال تا شمال غرب منطقه است (شکل

۳). در یک نگاه کلی، این دگرسانی خود دربرگیرنده پهنه کانی‌سازی شمال منطقه با دگرسانی آرژیلی شدید است. در بررسی‌های صحرایی، رنگ این واحد به دلیل شدت کلریتی-شدن، خاکستری مایل به سبز دیده می‌شود و در نمونه‌های دستی نیز حضور گسترده کلریت در متن سنگ و همچنین درزه‌ها و شکستگی‌های آن به خوبی قابل تشخیص است (شکل ۴ ث). در بررسی‌های کانی‌شناسی، کانی کلریت به صورت فراگیر در متن سنگ تشکیل شده است و تقریبا ۲۰ تا ۳۰ درصد زمینه را فرا می‌گیرد (شکل ۴ ج). در واحد داسیتی، کانی هورنبلند نیز به ندرت با اندازه‌های کمتر از ۱ میلیمتر دیده می‌شود. این کانی اغلب، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد به کلریت و ۱۰ درصد به اکسید آهن تجزیه شده و تنها قالبی از آن باقی-مانده است.

دگرسانی آرژیلی در منطقه چشمه زاغ، با شدت‌های مختلف، در بخش‌های شمالی، غربی و جنوب‌غربی و با گسترش‌های کم تا زیاد دیده می‌شود. این دگرسانی با توجه به شدت و همراهی آن با سایر دگرسانی‌ها، به سه زیر پهنه آرژیلی شدید، آرژیلی متوسط + اپیدوتی شدید و آرژیلی ضعیف + اپیدوتی قابل تفکیک است. دگرسانی آرژیلی شدید رخنمون بسیار کوچکی با گسترش کمتر از ۴۰۰ متر مربع در شمال منطقه دارد و بر بخشی از واحد داسیتی میزبان پهنه کانی-سازی شمال شرق منطقه اثر داشته است (شکل ۳). شدت دگرسانی به قدری است که از سنگ اولیه آثاری باقی نمانده و تنها رخنمونی از کانی‌های رسی به رنگ سفید مایل به زرد شکل گرفته است (شکل ۴ چ). دگرسانی آرژیلی متوسط + اپیدوتی شدید بخش جنوبی پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه را دربر می‌گیرد. سنگ میزبان این دگرسانی از نوع داسیت است. در این نوع دگرسانی، پلاژیوکلازها بین ۲۰ تا ۳۰ درصد به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند و در فضای بین کانی‌ها، اپیدوت همراه با کمی کلریت دیده می‌شود (شکل ۴ ح). دگرسانی آرژیلی ضعیف + اپیدوتی ضعیف مربوط به واحد سینوگرانیت واقع در غرب منطقه است. در این واحد، ارتوکلازها به مقدار ۵ تا ۱۰ درصد و پلاژیوکلازها کمتر از ۵ درصد به کانی‌های رسی تجزیه شده‌اند. کانی اپیدوت هم ناشی از تجزیه کانی پلاژیوکلاز و هم در زمینه دیده می‌شود. مقدار تجزیه پلاژیوکلاز به اپیدوت بین ۵ تا ۱۰ درصد تغییر می‌کند.

واحد داسیتی که سنگ میزبان پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه است، دستخوش دگرسانی سیلیسی-سرسیتی شده است (شکل ۳). با توجه به حضور اکسید آهن، بخش‌های سطحی آن کمی قرمز رنگ دیده می‌شود. سیلیسی‌شدن در متن سنگ و سرسیتی‌شدن بیشتر به صورت پراکنده و در ارتباط با تجزیه درشت‌بلورهای تشکیل‌دهنده واحد داسیتی است (شکل ۴ خ). مقدار کوارتز ثانویه تا به ۳۰ درصد و مقدار سرسیت به ۱۰ درصد می‌رسد.

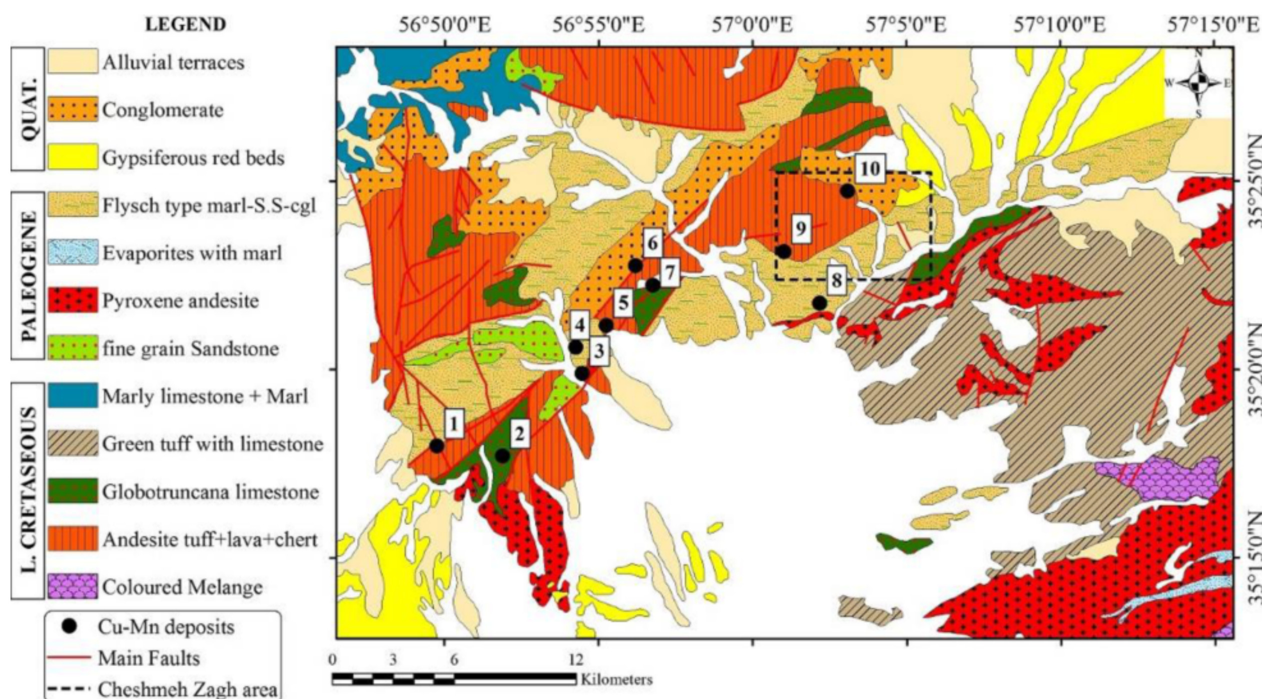
کانی‌سازی

از نظر زمانی، رخداد کانسارهای نوع سولفید توده‌ای همراه با سنگ‌های آتشفشانی در ایران از پروتروزوئیک پسین (کانسار تکنار) تا ائوسن- الیگوسن (کانسار باریت (سرب- روی) دره کاشان) ادامه داشته است. بنابراین با توجه به این توزیع زمانی، دوران مزوزوئیک (ژوراسیک و کرتاسه) مهمترین زمان برای تشکیل این نوع کانسارها (به جز نوع مافیک) در ایران است [۱۶، ۱۷].

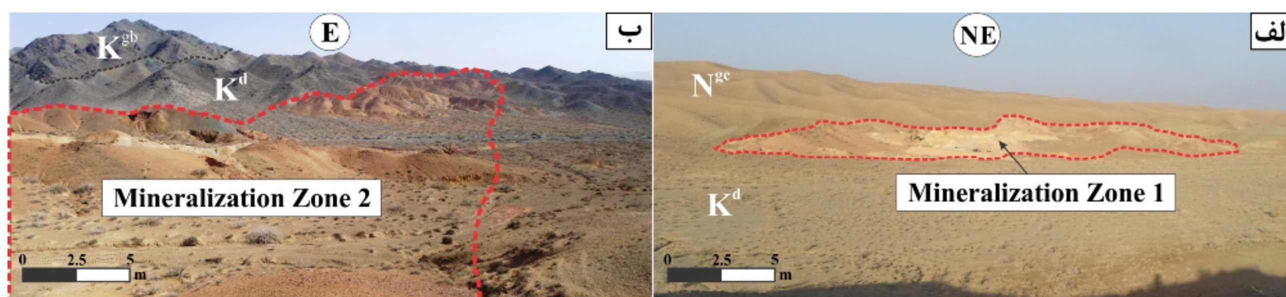
حوضه پشت کمانی سبزوار با داشتن رخساره‌های رسوبی دریایی ژرف، نفوذ توده‌های فرامافیک-مافیک، خروج گدازه‌ها و توالی آتشفشانی-رسوبی، خاستگاه مناسبی برای کانی‌زایی‌های نوع بستر اقیانوسی است. از آنجا که در جنوب غرب سبزوار و منطقه روداب، اغلب واحدهای سنگی منطقه از نوع سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی در ارتباط با حوضه گسترش اقیانوس سبزوار هستند، حضور کانه‌زایی‌هایی چون منگنز و مس ممکن است. بسیار از رخدادهای کانی‌سازی مس و منگنز آتشفشان‌زاد در یک راستای شمال غربی- جنوب شرقی در زیرپهنه سبزوار دیده می‌شوند که برخی در حال بهره‌برداری و بعضی هنوز مناطق اکتشافی هستند و به طور قطع بسیاری از آنها نیز کشف نشده‌اند. بنابراین می‌توان گفت که منطقه جنوب غرب سبزوار یک پهنه فلززایی مهم برای اکتشاف ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد و منگنزهای وابسته به فعالیت‌های آتشفشانی زیردریایی است (شکل ۵).

کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی در قالب دو پهنه اصلی عدسی شکل همراه با دگرسانی شدید آرژیلی و سیلیسی-سرسیتی در شمال شرق و جنوب غرب منطقه و آثار پراکنده‌ای از کانی‌سازی مس (بیشتر در ارتباط با شکستگی‌ها و گسل‌ها) در بخش‌های بین این دو پهنه دیده می‌شود. مهمترین بخش

کانی‌سازی شامل دو پهنه عدسی‌شکل همراه با دگرسانی شدید است (شکل‌های ۲ و ۳). پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه همراه با واحد داسیتی و با ابعاد به نسبت کم (۴۰۰ در ۱۰۰ متر مربع) رخنمون دارد که به احتمال بسیار بخش زیادی از آن با کنگلومرای عهد حاضر پوشانده شده است. رنگ زرد و دگرسانی شدید آرژیلی این پهنه را از سنگ‌های پیرامون متمایز می‌کند (شکل ۶ الف). در ترانشه‌های حفر شده در این پهنه، آثاری از حضور کانی‌سازی مس به شکل کانی مالاکیت (در شکستگی‌ها) با فراوانی ۱ تا ۵ درصد همراه با مقادیر بالای پیریت با فراوانی ۵ تا ۳۰ درصد به شکل پراکنده، رگچه‌ای و توده‌ای دیده می‌شود.



شکل ۵ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ کاشمر [۱۳] و خارتوران [۱۸]. که موقعیت کانسارها و نهشته‌های معدنی منطقه بر آن نشان داده شده است: ۱) کانسار منگنز نخلک، ۲) نهشته منگنز کوه قطربونه، ۳) کانسار مس–نقره گرماب پایین، ۴) نهشته مس سلم‌رود، ۵) کانسار کائولن اسبکشان، ۶) کانسار منگنز شمال شرق اسبکشان، نهشته مس ایزدپناه، ۸) کانسار منگنز کرمی (برگرفته از مرجع [۷] با تغییرات)، ۹) پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه چشمه زاغ و ۱۰) پهنه کانی‌سازی شمال منطقه چشمه زاغ.



شکل ۶ الف) پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه که با واحد کنگلومرایی پوشیده شده است، ب) پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه با گسترش بیشتر و عدسی‌شکل در دامنه جنوبی ارتفاعات منطقه. Kd: داسیت، Ngc: کنگلومرای نوزا و Kgb: گابرو.

دومین پهنه کانی‌سازی عدسی‌شکل با راستای شرقی-غربی، گسترش بسیار (۲ کیلومتر در ۴۰۰ متر) و همراه با واحد داسیتی در دامنه ارتفاعات جنوب غرب منطقه رخنمون دارد (شکل ۶ ب) این پهنه نسبت به پهنه شمال شرق منطقه دارای دگرسانی متفاوت و کانی‌سازی ضعیفتری است و تنها رخنمون-های محدودی از کانی‌سازی مس در قالب کانی مالاکیت پیرامون آن و با فاصله کم وجود دارد. در بخش‌های سطحی این پهنه، آثاری از دگرسانی سیلیسی-سرسیتی و آرژیلی ضعیف دیده می‌شود. مقدار اکسید آهن در بخش‌های سطحی این پهنه بیشتر بوده و شامل انواع هماتیت و گوتیت است. کانی‌سازی تنها در قالب کانی‌های پیریت موجود در متن سنگ (فراوانی بین ۱ تا ۳۰ درصد) و اکسیدهای آهن ناشی از اکسید شدن آنها (گوتیت و هماتیت) حضور دارد و شواهدی از کانی‌سازی اولیه و ثانویه مس حتی در ترانشه‌های حفر شده دیده نمی‌شود. افزون بر این دو پهنه اصلی، کانه‌های ثانویه مس چون مالاکیت و کوولیت و همچنین کانه‌های سولفیدی اولیه پیریت و کالکوپیریت به صورت پراکنده و محدود به شکل رگه- رگچه همراه با برخی ساختارهای گسلی و شکستگی‌ها در بخش‌های مختلف منطقه و به ویژه در ارتفاعات و همراه با واحدهای آتشفشانی از نوع ریوداسیت دیده می‌شود. همراه با این بخش-ها، مقادیر کمتری از کانی‌سازی‌های مگنتیت و اکسیدهای آهن نیز مشاهده می‌شود.

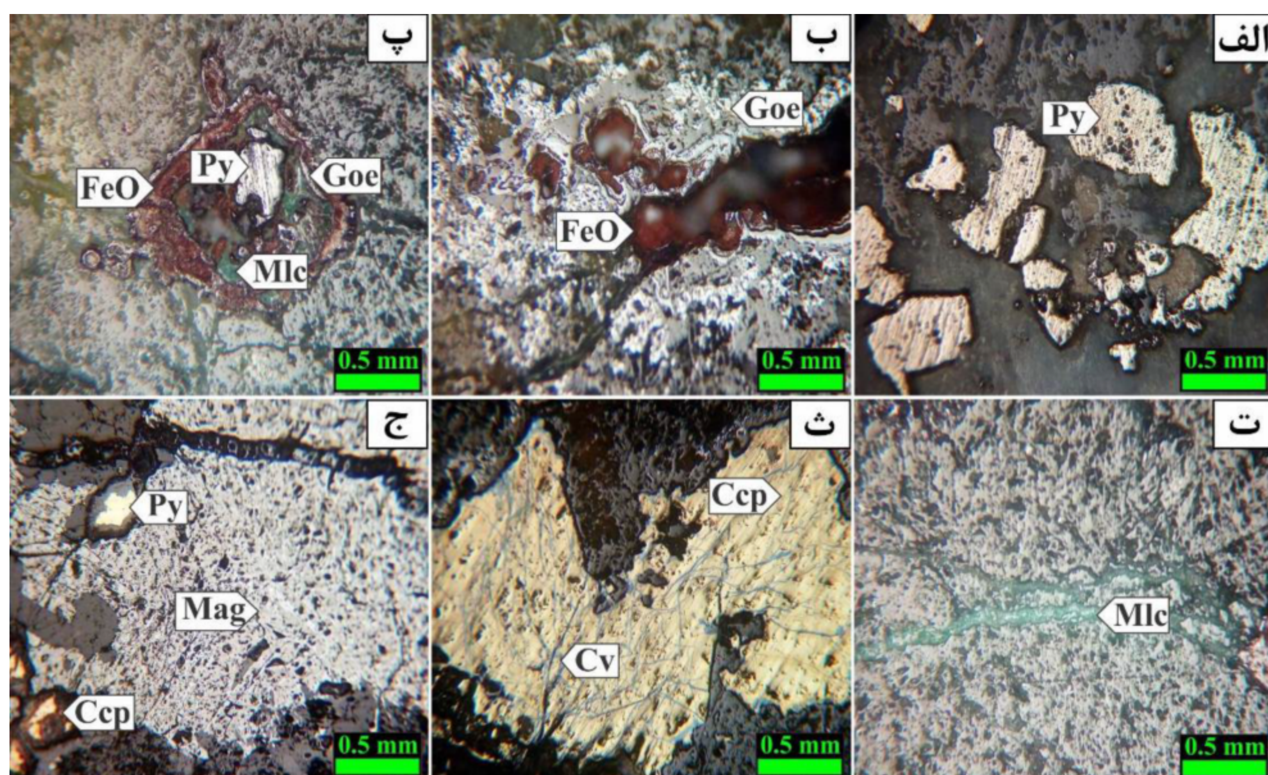
کانی‌شناسی و توالی همبری

کانی‌شناسی در منطقه چشمه زاغ شامل انواع کانه‌های اولیه و ثانویه است. کانی‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت است و کانه‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت و اکسیدهای آهن (گوتیت و هماتیت) همراه با کانی‌های باطله کلریت، اپیدوت، کوارتز، سرسیت و کانی‌های رسی دیده می‌شوند. پیریت فراوانترین کانی سولفیدی منطقه است که در مناطق دارای کانه‌زایی بسیار دیده می‌شود (شکل ۷ الف) و حتی در نمونه دستی قابل تشخیص است. این کانی در قالب بافت‌های رگچه‌ای، توده‌ای و پراکنده دیده می‌شود و مقدار آن در برخی نمونه‌ها به بیش از ۳۰ درصد می‌رسد. اندازه کانی پیریت اغلب بین ۰/۲ تا ۰/۵ میلیمتر است و گاهی به ۱ میلیمتر نیز می‌رسد. اغلب آنها بین ۵ تا ۱۰۰ درصد به گوتیت تبدیل شده‌اند (شکل‌های ۷ ب و پ).

کالکوپیریت به صورت رگچه‌ای و پراکنده دومین کانی سولفیدی فراوان در منطقه است که با فراوانی بین ۰/۵ تا ۲ درصد در سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شود. اندازه آن از ۰/۱ میلیمتر تا ۳ سانتیمتر متغیر است. این کانی بیشتر به مالاکیت، کوولیت و هماتیت (بین ۲ تا ۱۰۰ درصد) تبدیل شده است (شکل‌های ۷ ت و ث). کانی مگنتیت در برخی رگچه‌ها همراه با پیریت و کالکوپیریت دیده می‌شود و مقدار آن گاهی به ۵ درصد می‌رسد. اندازه دانه‌های مگنتیت نیز تا ۳ سانتیمتر رسیده است و آثار مارتیتی‌شدن (تا ۱۰ درصد) در آنها دیده می‌شود (شکل ۷ ج).

اکسیدهای آهن ثانویه (گوتیت و هماتیت)، فراوانترین کانی‌های ثانویه منطقه هستند که از تبدیل کانی‌های سولفیدی و اکسیدی اولیه به ویژه پیریت شکل گرفته‌اند. این کانه‌ها به صورت پراکنده، رگچه‌ای و گاهی پرکننده حفره‌های سنگ‌های آتشفشانی دیده می‌شوند. کانی‌های ثانویه مس (مالاکیت و کوولیت) به طور محدود (کمتر از ۵ درصد) و به صورت پراکنده و رگچه‌ای دیده می‌شوند. روابط همبری کانی‌های فلزی و غیرفلزی اولیه و بررسی پهنه‌های دگرسانی و کانی‌سازی نشان می‌دهد که کلریت و اپیدوت مهمترین کانی‌های باطله همراه با کانی‌سازی در منطقه هستند که بطور فراگیر از آغاز تا پایان مراحل کانی‌سازی حضور داشته‌اند. تشکیل کوارتز، سرسیت و کانی‌های رسی از محلول کانه‌دار در فازهای بعدی رخ داده است و بخش اصلی کانی‌سازی سولفیدی نیز همراه با آنها دیده می‌شود. کانی‌های ثانویه در اثر فرایند هوازدگی سطحی و شستشوی کانی‌های اولیه به شکل چشمگیری تشکیل شده‌اند (شکل ۸). حضور مقادیر بالای آنها به ویژه اکسیدهای آهن نشان می‌دهد که کانی‌سازی سولفیدی قابل توجهی در منطقه وجود داشته که ارزیابی دقیق‌تر آن نیازمند بررسی‌های عمقی است.

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]



شکل ۷ تصاویر میکروسکوپی از کانه‌زایی در منطقه اکتشافی چشمه زاغ. الف) کانه‌زایی پیریت (Py) در نمونه‌های برداشت شده از مناطق سطحی پهنه‌های سولفیدی، ب) حضور کانی‌های ثانویه اکسید آهن (FeO) و گوتیت (Goe) در نتیجه تجزیه کانی پیریت اولیه، پ) بلور پیریت که از لبه به اکسید آهن و گوتیت تجزیه شده است به همراه کانه‌سازی مالاکیت (Mlc) که بصورت ثانویه در حفره‌ها جانشین شده است، ت) کانه رگه‌ای مالاکیت، ث) کانه کالکوپیریت (Ccp) درحال تبدیل به کوولیت (Cv)، ج) حضور گسترده مگنتیت (Mag) که بیشتر درون شکستگی‌ها جانشین شده است، به همراه مقادیر کمتری از کانی‌های پیریت و کالکوپیریت. (نام اختصاری کانی‌ها برگرفته از مرجع [۱۵]).

کانی ها	کانی های اولیه	زون اکسیدان
پیریت		
کالکوپیریت		
مگنتیت		
اپیدوت		
کلریت		
کوارتز		
سرسیت		
کانی های رسی		
کوولیت		
مالاکیت		
هماتیت		
گوتیت		

شکل ۸ توالی همبری کانی‌های فلزی و غیرفلزی اولیه و ثانویه منطقه اکتشافی چشمه زاغ.

زمین‌شیمی پهنه‌های کانی‌سازی

اکتشافات زمین‌شیمیایی در منطقه چشمه زاغ در قالب بررسی تغییرات پراکندگی عناصر در نمونه‌های خرده سنگی برداشت شده از دو پهنه کانی‌سازی شمال شرق و جنوب غرب انجام شد. از تعداد ۴۳ نمونه تجزیه شده، ۲۰ نمونه مربوط به پهنه شمال شرق (جدول ۱) و ۲۳ نمونه در ارتباط با پهنه جنوب غربی است (جدول ۲).

جدول ۱ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه چشمه زاغ.

شماره	X (UTM)	Y (UTM)	As (ppm)	Au (ppb)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
2	۵۰۴۵۴۷	۳۹۱۸۷۷۶	۶	-	۱۴۳	۳۸	۱٫۱۲	۵	۱۴
3	۵۰۴۵۸۶	۳۹۱۸۸۵۴	۱۰۰	-	۱۳۸۳	۲۸۷	۱٫۶۴	۶	۱۶۲
4	۵۰۴۶۶۶	۳۹۱۸۸۶۵	۵۰٫۳	۲۲۳۰	۱۴۵	۳۶	۱۶٫۵	۲۶۵	۲۲
82	۵۰۴۶۹۴	۳۹۱۸۸۳۱	۴۱٫۹	۱۴	۸۷۸	۱۸۸	۰٫۵۷	۱۲	۸۹
83	۵۰۴۶۷۳	۳۹۱۸۸۴۹	۸٫۸	۷	۱۷۰۹	۱۵۱	۰٫۵۲	۱۲	۱۲۴
84	۵۰۴۶۵۶	۳۹۱۸۸۲۴	۲۱٫۷	-	۶۲۹	۴۸	۱٫۴۶	۱۶	۷۱
85	۵۰۴۶۵۰	۳۹۱۸۸۴۲	۸۸٫۹	۹۷	۱۵۹	۸۹	۳۲٫۹	۳۶۳	۴۲
86	۵۰۴۷۳۴	۳۹۱۸۸۴۸	۱۷٫۹	-	۸۳۹	۱۰۷	۳٫۹۶	۱۱	۴۱
87	۵۰۴۷۴۱	۳۹۱۸۸۱۶	۴٫۱	۵	۱۳۰	۵۳	۲٫۷	۱۲	۴۶
88	۵۰۴۷۷۵	۳۹۱۸۸۳۸	۲٫۵	-	۱۵۴	۴۲	۲٫۱۶	۲۶	۱۰۲
89	۵۰۴۷۵۸	۳۹۱۸۷۹۳	۷٫۳	۸	۹۰	۱۰۰	۱٫۳۴	۹	۳۴
90	۵۰۴۷۳۵	۳۹۱۸۷۳۵	۱۷٫۵	۱۹	۱۸۸	۱۲۵	۹٫۱	۱۳	۶۱
91	۵۰۴۶۳۸	۳۹۱۸۷۸۴	۱۲٫۶	-	۱۷	۴۲۱	۱٫۷۹	۸	۱۲۰
92	۵۰۴۶۲۷	۳۹۱۸۸۶۸	۱۳۶٫۹	۸	۷۶۲	۱۹۵۷	۹٫۵	۴۰	۵۵۵
93	۵۰۴۶۱۶	۳۹۱۸۸۴۷	۳۳۲	۳۴۹	۴۰۷	۷۸۴	۳۹٫۹	۱۷۶	۲۸۲
94	۵۰۴۵۹۳	۳۹۱۸۸۲۷	۴۹٫۳	۱۳	۱۰۷	۴۱	۲٫۶۶	۲۶	۲۵
95	۵۰۴۵۶۶	۳۹۱۸۸۱۱	۶٫۷	۵	۱۱۹	۱۸	۱٫۴۹	۲۴	۲۸
96	۵۰۴۶۲۸	۳۹۱۸۸۲۹	۲۴	۱۲	۴۴۰	۴۷۵	۱٫۷۸	۲۶	۱۳۵
97	۵۰۴۶۱۳	۳۹۱۸۸۱۲	۱۴٫۹	۷	۴۸۳۹	۳۵۴	۳٫۹	۱۱	۳۳۳
98	۵۰۴۵۹۱	۳۹۱۸۸۰۲	۱۸٫۴	-	۱۳۵۴	۵۸۴	۱٫۳	۱۱	۷۳۸
کمترین مقدار			۲٫۵	۵	۱۷	۱۸	۰٫۵	۵	۱۴
بیشترین مقدار			۳۳۲	۲۲۳۰	۴۸۳۹	۱۹۵۷	۳۹٫۹	۳۶۳	۷۳۸
میانگین			۴۰	۲۱۳	۷۲۴	۲۹۵	۶٫۸	۵۳	۱۵۱

جدول ۲ نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه چشمه زاغ.

شماره	X (UTM)	Y (UTM)	As (ppm)	Au (ppb)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
11	۵۰۱۹۳۴	۳۹۱۵۷۱۸	۲٫۷	-	۱۱	۱۳۰	۱٫۰۷	۶	۱۱
13	۵۰۲۰۵۷	۳۹۱۵۷۸۰	۳٫۱	-	۱۵	۳۰	۱٫۱۶	۶	۶
16	۵۰۱۲۴۷	۳۹۱۵۸۱۷	۸	۹	۱۹	۵۳	۱٫۳۳	۶	۱۸
17A	۵۰۱۴۵۱	۳۹۱۵۸۴۵	۲٫۳	۱۴	۱۰۸	۳۰	۰٫۷۹	۶	۶
17B	۵۰۱۴۹۳	۳۹۱۵۷۸۱	۲۰٫۷	-	۵۹۵۱	۳۰۵	۶٫۴	۱۶	۷۸
18	۵۰۱۹۸۴	۳۹۱۵۶۲۲	۲٫۷	-	۱۵۵۰۵	۴۰۴	۱٫۲۹	۱۲	۳۳
105	۵۰۱۷۳۷	۳۹۱۵۸۶۶	۲٫۹	۵	۳۶	۹۲	۰٫۸۱	۴۱	۳۱۷
106	۵۰۱۷۹۱	۳۹۱۵۸۳۳	۲٫۲	۵	۱۴	۱۲۳	۰٫۶۹	۱۵	۴۰
107	۵۰۱۷۰۳	۳۹۱۵۸۰۰	۲٫۵	۵	۸	۳۰	۱٫۲	۱۳	۲۳
108	۵۰۱۸۱۳	۳۹۱۵۷۷۶	۱٫۹	۵	۱۹	۲۵	۰٫۹۷	۲۱	۲۵
109	۵۰۱۷۷۹	۳۹۱۵۷۲۲	۲٫۸	۵	۴	۷۶	۱٫۲۱	۱۳	۲۴
110	۵۰۱۹۰۱	۳۹۱۵۷۷۲	۲	۵	۳	۵۲	۰٫۸	۱۰	۱۸
112	۵۰۱۹۷۳	۳۹۱۵۸۱۲	۲٫۵	۵	۴	۱۱۰	۰٫۹۵	۱۳	۲۹
115	۵۰۲۰۸۰	۳۹۱۵۸۳۹	۲٫۴	۵	۷۶	۵۹	۲٫۶۴	۲۱	۴۳
117	۵۰۱۵۱۸	۳۹۱۵۸۲۰	۲٫۶	۵	۱۹	۱۲۹	۱٫۸۵	۳۰	۳۴
118	۵۰۱۴۷۰	۳۹۱۵۹۲۸	۲۶٫۱	۵	۱۱۱	۲۹۸	۲۹٫۲	۲۱	۳۲
120	۵۰۱۳۲۳	۳۹۱۶۰۷۱	۲٫۴	۵	۹	۱۵۴	۱٫۰۴	۱۲	۲۰
121	۵۰۱۳۰۸	۳۹۱۵۹۷۵	۲	۵	۲۳	۴۰	۰٫۸۴	۱۲	۲۴
122	۵۰۱۲۲۵	۳۹۱۵۹۶۴	۱٫۸	۵	۱۵	۱۷۳	۱٫۸	۱۴	۶۳
123	۵۰۱۲۵۵	۳۹۱۵۸۷۹	۲٫۲	۵	۶	۱۴۰	۰٫۹۶	۱۱	۳۵
124	۵۰۱۱۷۰	۳۹۱۵۸۹۱	۲۴٫۷	۵	۲۰	۳۰	۲٫۰۹	۱۴	۳۵
125	۵۰۱۳۷۷	۳۹۱۵۸۵۲	۲٫۵	۵	۲۹	۱۵۵	۱٫۶۵	۱۵	۴۰
126	۵۰۱۴۱۰	۳۹۱۵۷۸۰	۲٫۸	۵	۷۳	۹۱۱	۱٫۰۵	۱۷	۱۰۲
کمترین مقدار			۱٫۸	۵	۳	۲۵	۰٫۶۹	۶	۶
بیشترین مقدار			۲۶٫۱	۱۴	۱۵۵۰۵	۹۱۱	۲۹٫۲	۴۱	۳۱۷
میانگین			۵٫۴	۵٫۷	۹۶۰	۱۵۴	۲٫۷	۱۵	۴۶

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]

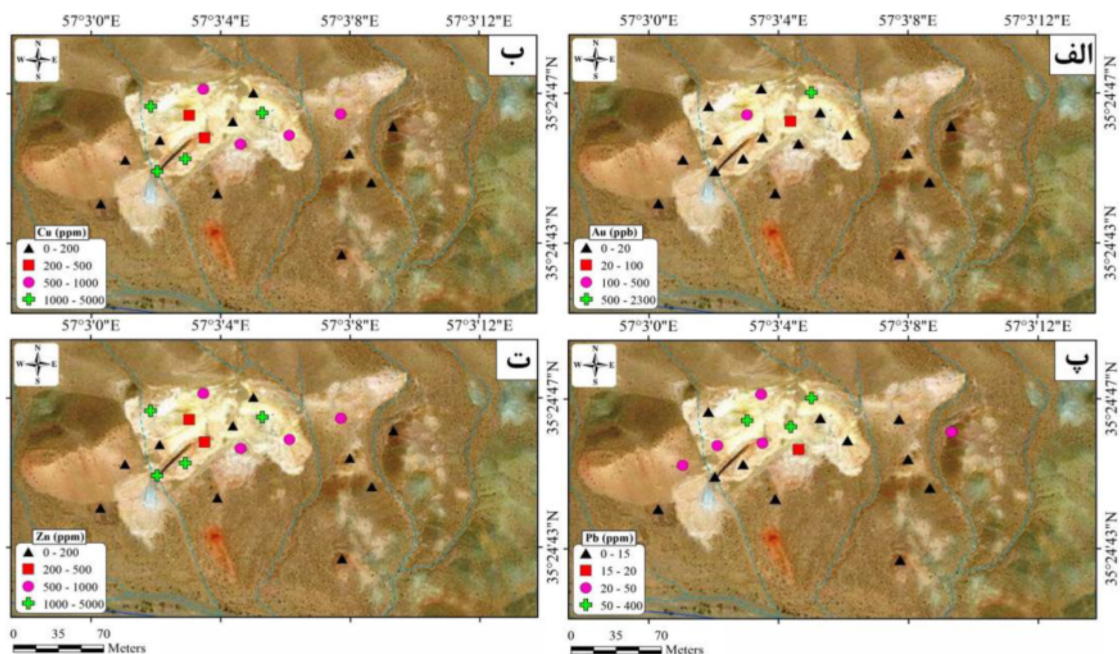
پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه

عنصر مس در ۲۰ نمونه تجزیه شده از این پهنه دارای مقدار متوسط ۷۲۴ گرم در تن بوده و مقادیر آن بین ۱۷ تا ۴۸۳۹ گرم در تن تغییر می‌کند. از این میان، تعداد ۶ نمونه دارای مقادیر بین ۴۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم در تن و ۴ نمونه نیز دارای مقادیر بیش از ۱۰۰۰ گرم در تن (۱۳۵۴ تا ۴۸۳۹ گرم در تن) هستند که این نشان‌دهنده پتانسیل بالا و مناسب این پهنه کانی‌سازی برای عنصر مس است (شکل ۹ الف). تغییرات عنصر طلا در ۱۸ نمونه از ۲۰ نمونه برداشت شده از این پهنه بررسی که از این میان، مقادیر در ۵ نمونه کمتر از حد تشخیص دستگاه بود. از بین سایر نمونه‌ها نیز، دو نمونه دارای مقادیر ۳۴۹ و ۲۲۳۰ میلی‌گرم در تن هستند و سایر آنها مقادیر کمتر از ۱۰۰ میلی‌گرم در تن را دارند (شکل ۹ ب).

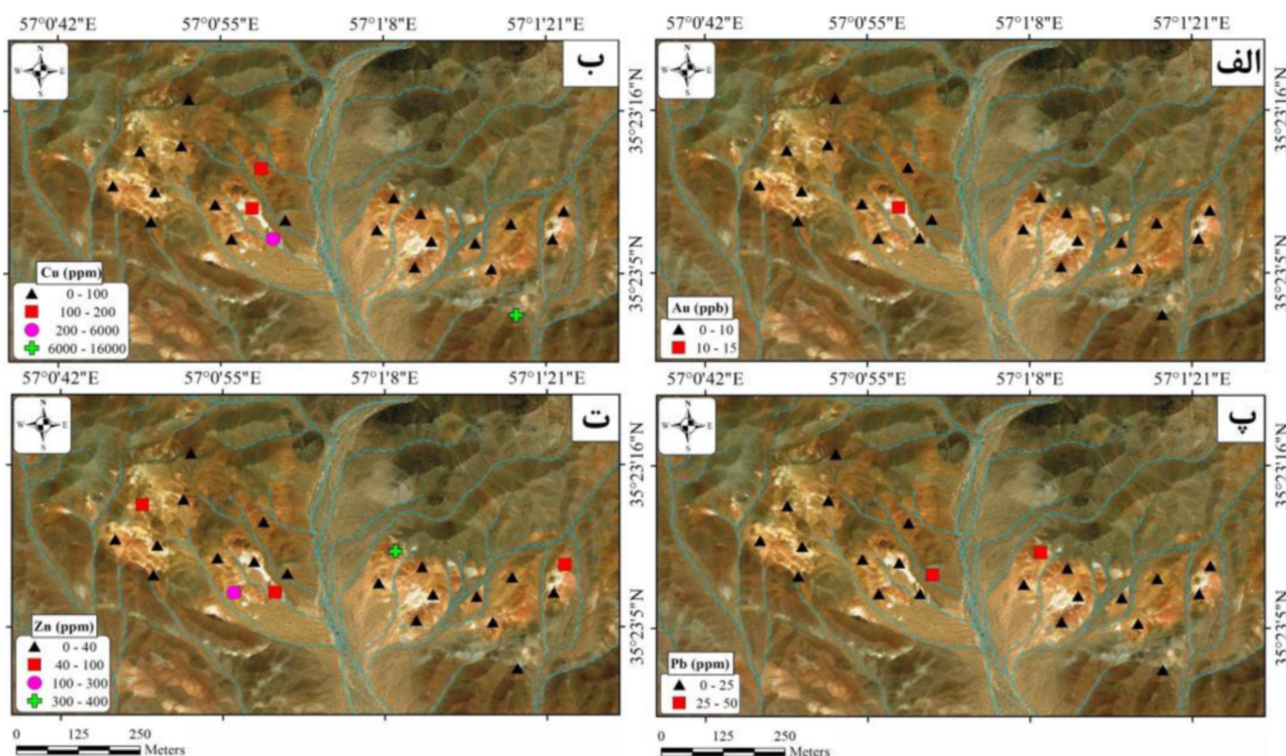
تغییرات عنصر سرب به نسبت پایین بوده (با مقدار متوسط ۵۳ گرم در تن) و در بیشتر نمونه‌ها، مقادیر کمتر از ۴۰ گرم در تن است. تنها در ۳ نمونه، این مقدار به بیش از ۱۰۰ گرم در تن می‌رسد و بیشترین مقدار آن برابر با ۳۶۳ گرم در تن است (شکل ۹ پ). عنصر روی نیز مانند سرب است و در اغلب نمونه‌ها، مقادیر کمتر از ۱۶۰ گرم در تن دارد. مقادیر عنصر روی تنها در ۴ نمونه بین ۲۸۲ تا ۷۳۸ گرم در تن تغییر می‌کند. نکته جالب توجه بالا بودن مقادیر عنصر مس در این نمونه‌هاست (شکل ۹ ت). کانی روی‌دار در بررسی‌های دیده نشد.

پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه

از پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه مورد بررسی، تعداد ۲۳ نمونه خرده سنگی برداشت و تجزیه شدند. متوسط مقدار عنصر مس در نمونه‌ها برابر با ۹۵۹ گرم در تن است. این مقدار بالا در ارتباط با مقدار بالای عنصر مس در نمونه شماره ۱۸ است (مقدار ۱۵۵۰۵ گرم در تن، معادل ۱٫۵ درصد) که از رخنمون بسیار محدود کانی‌سازی واقع در کرانه جنوب شرقی پهنه کانی‌سازی برداشت شده است. یک نمونه دیگر نیز دارای مقادیر به نسبت بالای مس معادل ۵۹۵۱ گرم در تن است که از بخش‌های مرکزی پهنه کانی‌سازی برداشت گردیده است. بر اساس بررسی‌های صحرایی، مقادیر پسین از پیریت به همراه دگرسانی سیلیسی در این نمونه دیده شده است. وجود ناهنجاری از عنصر به علت حضور کانی‌های اولیه و ثانویه مس‌دار است. مقدار عنصر مس در ۲۱ نمونه دیگر کمتر از ۱۱۱ گرم در تن است (شکل ۱۰ الف). بررسی تغییرات مقدار طلا نیز در این پهنه، برای ۱۹ نمونه از ۲۳ نمونه برداشت شده انجام شد که بر اساس نتایج به دست آمده، این عنصر هیچ ناهنجاری ندارد و مقادیر آن در گستره محدود ۵ تا ۱۴ میلی‌گرم در تن تغییر می‌کند (شکل ۱۰ ب).



شکل ۹ بررسی تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر فلزی اصلی (مس، طلا، سرب و روی) در پهنه کانی‌سازی شمال شرق منطقه اکتشافی چشمه زاغ. الف) تغییرات عنصر مس؛ چهار نمونه با مقادیر بالاتر از ۰٫۱ درصد، ب) تغییرات عنصر طلا؛ دو نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۳۵۰ میلی‌گرم در تن، پ) تغییرات عنصر سرب؛ سه نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۱۰۰ گرم در تن، ت) تغییرات عنصر روی؛ چهار نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۲۸۰ گرم در تن.



شکل ۱۰ بررسی تغییرات زمین‌شیمیایی عناصر فلزی اصلی (مس، طلا، سرب و روی) در پهنه کانی‌سازی جنوب غرب منطقه اکتشافی چشمه زاغ: الف) تغییرات عنصر مس؛ چهار نمونه با مقادیر بالاتر از ۰/۱ درصد، ب) تغییرات عنصر طلا؛ دو نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۳۵۰ میلی‌گرم در تن، پ) تغییرات عنصر سرب؛ سه نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۱۰۰ گرم در تن، ت) تغییرات عنصر روی؛ چهار نمونه دارای مقادیر بالاتر از ۲۸۰ گرم در تن.

تغییرات عناصر سرب و روی در نمونه‌های برداشت شده از این پهنه کانی‌سازی به نسبت پایین است، به طوری‌که متوسط مقدار سرب در نمونه‌های برداشت شده برابر با ۱۵ گرم در تن است. کمترین و بیشترین مقدار این عنصر برابر با ۶ و ۴۱ گرم در تن است که پتانسیل بسیار پایین این عنصر را نشان می‌دهد (شکل ۱۰ پ). متوسط مقدار عنصر روی نیز برابر با ۴۵ گرم در تن است. تنها در دو نمونه، مقدار این عنصر به ۳۱۷ و ۱۰۲ گرم در تن می‌رسد و سایر نمونه‌ها دارای مقدار روی کمتر از ۷۸ گرم در تن هستند. نمونه با بیشترین مقدار روی بیشترین مقدار سرب (۴۱ گرم در تن) را نیز دارد (شکل ۱۰ ت).

بحث

ذخایر سولفید توده‌ای همراه با سنگ‌های آتشفشانی اغلب توده‌های چینه‌سان، عدسی‌شکل یا ورقه مانند هستند که در همبری بین واحدهای آتشفشانی یا واحدهای آتشفشانی ـ رسوبی تشکیل می‌شوند. کانی‌شناسی این ذخایر بسیار ساده است و می‌تواند شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، ± گالن ± پیروتیت باشد. این ذخایر اغلب دارای بیش از ۹۰ درصد سولفید آهن، بیشتر به صورت پیریت هستند، هر چند پیروتیت نیز در برخی ذخایر تشکیل می‌شود. ذخایر سولفید توده‌ای می‌توانند منابع مهمی از عناصر مس، سرب، روی، طلا و نقره باشند. این کانسارها پهنه‌بندی ویژه‌ای در کانی‌سازی و دگرسانی نشان می‌دهند که در ارتباط با تغییرات دمایی سیال کانه‌دار است. اغلب، هسته غنی از کالکوپیریت بوده و پهنه‌های لبه‌ای بیشتر شامل اسفالریت ± گالن است. طلا و نقره نیز اغلب به صورت فراورده‌های جانبی با این نوع کانسار همراه است [۱۹].

ویژگی‌های منطقه چشمه زاغ با جدیدترین تقسیم‌بندی ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد براساس نوع سنگ میزبان [۲، ۳]، در جدول ۳ مقایسه شده است. این ویژگی‌ها شامل محیط زمین‌ساختی، سنگ‌های میزبان و همراه، کانه‌های معدنی، کانی‌های باطله، عمده عناصر فلزی و دگرسانی است. از آنجا که سنگ همراه و میزبان در منطقه مورد بررسی به ترتیب از نوع داسیتی- ریوداسیتی و بازالتی- تراکی‌بازالتی است و سنگ‌های رسوبی همزمان دیده نمی‌شود، می‌توان ادعا کرد که کانی‌سازی چشمه زاغ به احتمال بسیار از نوع دوگانه فلسی

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]

(محیط کمان تا پشت کمان؛ [۲۰، ۲۱]) است. محیط زمین-ساختی (بازشدگی پشت کمان) و دگرسانی‌های موجود (سرسیتی، سیلیسی، پیریتی و کلریتی) نیز می‌توانند این ادعا را تایید کنند. اگرچه تفاوت‌هایی با این نوع ذخایر سولفید توده‌ای وجود دارد که مهمترین آن‌ها پایین بودن مقدار سرب و نبود باریت، اسفالریت و گالن است. اما گفتنی است که ویژگی-های کانسار چشمه زاغ فقط براساس شواهد سطحی با دیگر ذخایر مقایسه شده است و به طور قطع اثبات دقیق این موضوع و بررسی بیشتر شکل و حالت کانی‌سازی و ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی نیازمند بررسی‌های زیرسطحی است. ناهنجاری طلا در منطقه چشمه زاغ قابل ملاحظه است. اغلب بین ناهنجاری طلا و حضور و گسترش دگرسانی آرژیلی در ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد رابطه مستقیمی وجود دارد، به طوری که نوع دوگانه فلسی سولفید بالا به این تقسیم بندی اضافه شده است. در این نوع ذخیره سولفید توده‌ای، دگرسانی آرژیلی پیشرفته افزودن بر دیگر دگرسانی‌ها حضور دارد و غنی از طلاست [۲۲]. در ایران نیز کانسار باریکا در شرق سردشت از نوع ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد غنی از طلا معرفی شده است. این کانسار نیز از نوع دوگانه فلسی است و دگرسانی آرژیلی دارد [۲۳]. از این رو، با توجه به همه توضیحات، منطقه چشمه زاغ نیز می‌تواند شباهت به باریکا داشته و از نوع دوگانه فلسی غنی از طلا باشد که اثبات آن به طور قطع نیازمند حفاری، بررسی‌های عمقی و زمین‌شیمیایی زیرسطحی است.

جدول ۳ مقایسه ویژگی‌های شاخص کانسار چشمه‌زاغ با انواع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد [۲، ۳].

ویژگی‌های شاخص	کانسار چشمه زاغ	سیلیسی آواری فلسی (Bathurst)	دوگانه فلسی (Kuroko)	دوگانه مافیک (Noranda)	پلیتیک مافیک (Besshi)	مافیک-فرامافیک (Cyprus)
محیط زمین‌ساختی	پشت کمان	کمان و پشت کمان	کمان و بازشدگی پشت کمان	کمان‌های نو ظهور اقیانوسی	پشت کمان، کافت‌های قاره‌ای	پشته‌های میان اقیانوسی، پشت کمان
سنگ‌های میزبان و همراه	ریوداسیت، داسیت، تراکی بازالت، بازالت	داسیت، ریولیت و شیل سیاه	ریولیت، داسیت و سنگ‌های آذرآواری فلسی	بازالت، آندزیت و آذرآواری	گدازه‌های بازالتی، آندزی- بازالتی، شیل سیاه، لای سنگ،	بازالت‌های بالشی و سنگ‌های فرامافیک
کانه‌های معدنی	پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت	اسفالریت، گالن، پیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، تتراهدریت	اسفالریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت،	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، پیروتیت	پیریت، کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلریت، سرسیت، اپیدوت	کربنات، کوارتز، سرسیت، باریت	باریت فراوان، کوارتز	کلریت، کوارتز، کربنات	کلریت، کوارتز، سرسیت، اپیدوت	کوارتز، ژاسپر، کلریت
عمده عناصر فلزی	Zn ± Au -Cu	Pb-Cu (Au) -Zn	Cu-Pb-Zn (Au-Ag)	Cu-(Zn)	Zn -Cu	Cu-Au
دگرسانی	کلریتی، سیلیسی-سرسیتی، اپیدوتی، آرژیلی	سرسیتی، سیلیسی، کلریتی، کلسیتی	سرسیتی، پیریتی، سیلیسی، کلریتی	کلریتی و سرسیتی	کلریتی، سیلیسی، سرسیتی، اپیدوتی	کلریتی، سیلیسی
مثال از انواع مشابه در ایران	-	چاه گز [۲۴]	باریکا [۲۳]، درین [۲۵]	سرگز [۲۶]	بوانات [۲۷]، نوده [۵، ۲۸]	شیخ عالی [۲۹]، قزل داش [۳۰]

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]
[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]

برداشت

رخداد کانی‌سازی چشمه زاغ در قالب دو پهنه عدسی شکل با اندازه‌های متفاوت و آثار رگه- رگچه‌های پراکنده در بین آنها در مجموعه سنگ‌های آتشفشانی دوگانه (فلسی و بازی) کرتاسه پایانی در زیرپهنه سبزوار تشکیل شده است. سنگ همراه اصلی کانه‌زایی، واحدهای فلسی با ترکیب داسیتی هستند که دستخوش دگرسانی آرژیلی یا سیلیسی- سرسیتی شده‌اند. این دگرسانی‌ها توسط دگرسانی‌های گسترده ای از نوع کلریتی، اپیدوتی و پروپلیتی احاطه شده‌اند. ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی از مس، روی و طلا در نمونه‌های سطحی برداشت شده قابل توجه است. بررسی‌های زمین‌شناسی در مقیاس ناحیه‌ای و محلی، شکل هندسی ماده معدنی، نوع کانی‌های فلزی و باطله، انواع دگرسانی، سنگ همراه و بررسی‌های زمین‌شیمیایی نشان می‌دهد که این کانی‌سازی در یک محیط کششی پشت کمانی ناشی از فرورانش سنگ کره اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی تشکیل شده است. در این محیط آتشفشانی- رسوبی زیردریایی عمیق، به طور قطع عملکرد گسل‌های همزمان با فعالیت‌های آتشفشانی و رسوبگذاری و وجود منبع گرمایی ناشی از توده‌های نفوذی در تشکیل کانه‌زایی موثر بوده است.

مقایسه منطقه چشمه زاغ با انواع کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد نشان می‌دهد که این منطقه بیشترین شباهت را با نوع دوگانه فلسی معادل نوع کروکو دارد. البته اثبات قطعی این موضوع نیاز به بررسی‌های زیرسطحی تفصیلی دارد. با شواهد سطحی کنونی به نظر می‌رسد که هم اکنون در افق‌های بالای کانی‌سازی قرار داریم و برای مشاهده کانی‌سازی اولیه و بررسی‌های ساختی و بافتی و بررسی‌های پهنه‌بندی زمین‌شیمیایی باید حفاری در منطقه انجام شود. با توجه به گسترش کانه‌زایی مس و منگنز در افق‌های چینه‌شناسی ویژه توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پایانی در جنوب غربی سبزوار، اکتشاف هرچه بیشتر این نوع کانی‌سازی در این بخش از شمال شرق ایران توصیه می‌شود.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح پژوهشی شماره ۲/۴۹۵۴۸ مورخ ۱۳۹۸/۲/۱۷ انجام شده است. نگارندگان مراتب سپاس خود را از حوزه معاونت محترم پژوهشی و فناوری این دانشگاه ابراز می‌دارند.

مراجع

[1] Piercey S.J., *"A semipermeable interface model for the genesis of subseafloor replacement-type volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits",* Economic Geology 110 (7) (2015) 1655-1660.

[2] Franklin J.M., Gibson H.L., Jonasson I.R., Galley A.G., *"Volcanogenic Massive Sulphide Deposits"*, Economic Geology 100th anniversary (2005) 523-560.

[3] Huston D.L., Pehrsson S., Eglington B.M., Zaw K., *"The geology and metallogeny of volcanic-hosted massive sulfide deposits: Variations through geologic time and with tectonic setting",* Economic Geology 105 (3) (2010) 571-591.

[4] Rossetti F., Nasrabady M., Vignaroli G., Theye T., Gerdes A., Razavi M., MoinVaziri H., *"Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri- Tethyan oceans in central Iran",* Journal of Terra Nova 22 (1) (2010) 26-34.

[5] Maghfouri S., Rastad E., Mousivand F., Lin Y., Zaw K., *"Geology, ore facies and sulfur isotopes geochemistry of the Nudeh Besshi-type volcanogenic massive sulfide deposit, southwest Sabzevar basin, Iran",* Journal of Asian Earth Sciences 125 (2016) 1-21.

[6] Mousivand F., Tashi M., Ghasemi H., *"Occurrence of Nakhlak Manganese mineralization (Salam-roud) in the Late Cretaceous volcanic-sedimentary sequence, southeast of Shahroud, Sabzevar subzone (in Persian)"*, Journal of Advanced Applied Geology 26 (2017) 51-65.

[7] Tashi M., Mousivand F., Ghasemi, H.A., *"Besshi type copper-silver mineralization of volcanic massive sulphide in the Late Cretaceous volcanic-sedimentary sequence: A case example of*

[DOR: 20.1001.1.17263689.1399.28.3.1.5]

[DOI: 10.29252/ijcm.28.3.541]

[19] Gibson H.L., Allen R.L., Riverin G., Lane T.E., *"The VMS model: Advances and application exploration targeting"*. In: Ore Deposits and Exploration Technologies, Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration (2007) 713-730.

[20] Kazemi Z., Ghasemi H., Mousivandand F., *"Late Cretaceous subduction-related magmatism on the northern edge of Lut block, NE Iran"*, Journal of the Geological Society 176 (3) (2019) 530-552

[21] Ghasemi H., Kazemi Z., Mousivand F., Griffin W., (2018) *"Whole-rock geochemistry and mineral chemistry of the Late Cretaceous dacites in SW Sabzevar: constrain on their origin and tectonic setting"*, Petrology 9 (35) (2018) 79-100.

[22] Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I.R., *"Volcanogenic massive sulphide deposits",* Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication 5 (2007) 141-161.

[23] Tajadin H., Rastad E., yaghoubpour A.A., Mohajjel M., *"Stages of Formation and Development of Barika Gold-rich Massive Sulfide Deposit, East of Sardasht, Northwest of Sanandaj-Sirjan Metamorphic Zone: Based on Study of Structure, Texture and Micrometry of Fluids inclusion (in Persian)"*, Journal of Economic Geology 2 (1) (2010).

[24] Mousivand F., Rastad E., Peter J.M., Solomon M., "Bathurst type zinc-lead-copper Volcanic Massive Sulfide mineralization in the Chah Gaz area, south of Shahr-e-Babak, The South Sanandaj-Sirjan Zone (in Persian)" Journal of Earth Sciences 82 (2011) 151-164.

[25] Nazari M., Yaghoubpour A., Madani H., *"Darin Barite deposit in Kashan (in Persian)"*, Fourth Iranian Mining Symposium, Tarbiat Moallem University, Tehran, (1991) 125-106.

[26] Badrzadeh Z., *"Petrology and geochemistry of Pillow-basaltic lava in the northwestern of Jirof, with an approach to their copper-zinc mineralization (VMS) (in Persian)"*, Ph.D. thesis, University of Tarbiat Modares, Tehran (2009).

Lower Gharmab deposit, southeast of Shahroud (in Persian)", Journal of Economic Geology 9 (1) (2017).

[8] Tashi M., *"Mineralogy, Geochemistry and Occurrence Pattern of Lower Gharmab Copper-Silver and Asbkeshan Deposits, Khartouran Region, Southeast of Shahroud (in Persian)",* M.S thesis, University of Shahroud, Iran, (2015).

[9] Shafaii Moghadam H., Li X.H., Santos J.F., Stern R.J., Griffin W.L., Ghorbani G., Sarebani N., *"Neoproterozoic magmatic flare-up along the N. margin of Gondwana: The Taknar complex, NE Iran"*, Earth and Planetary Science Letters 474 (2017) 83-96.

[10] Ghazi J. M., Moazzen M., *"Geodynamic evolution of the Sanandaj-Sirjan zone, Zagros orogen, Iran"*, Turkish Journal of Earth Sciences 24 (5) (2015) 513-528.

[11] Aghanabati S.A., *"Geology of Iran (in Persian)"*, Geological survey of Iran Press (2004) 586 p.

[12] Mirzeinalipour Yazdi S.H., Pourkermani M., Arian M., Almasian M., *"Geometric analysis of fractures in Sabzevar ophiolitic zone (in Persian)"* Journal of Advanced Applied Geology 4 (2011) 359-371.

[13] Eftekharnejad j., Aghanabati A., Hamzehpour A., *"Geological map of 1: 250000 Kashmar (in Persian)",* Geological Survey of Iran (1976).

[14] Ghaemi F., Mousavi Harami R., *"Geological map of 1: 100000 Darouneh (in Persian)",* Geological Survey of Iran (2006).

[15] Whitney D.L., Evans B.W., *"Abbreviations for names of rock-forming minerals",* American mineralogist 95 (1) (2010) 185-187.

[16] Mousivand F., Rastad E., Peter J.M., *"Time and Spatial Range of VMS Volcanic Masses of Iran and Their Geodynamic Location (in Persian)"* 31st Conference of Earth Sciences, Tehran, Geological Survey of Iran (2012).

[17] Mousivand F., Rastad E., Peter J.M., Maghfouri S., *"Metallogeny of volcanogenic massive sulfide deposits of Iran"*, Ore Geology Reviews 95 (2018) 974-1007.

[18] Manouchehri M., Navaii A., Etemadi N., Afshar A., Hoseyni Z., Ghomashi A., Moghtader M., *"Geological map of 1: 100000 Khartouran (in Persian)",* Geological Survey of Iran (1986).

[27] Mousivand F., Rastad E., Hoshino K., Watanabe M., *"The Bavanat Cu-Zn-Ag orebody: First recognition of a Besshi-type VMS deposit in Iran"* Neues Jahrbuch Fur Mineralogie-Abhandlungen: Journal of Mineralogy and Geochemistry 183 (2007) 297-315.

[28] Maghfouri S., Rastad E., Mousivand F., *"Nodeh volcanic mass sulfide deposit (VMS), an example of Besshi-type deposits, southwest of Sabzevar (in Persian)",* Journal of Earth Sciences 94 (2014) 73-86.

[29] Monazami Miralipour A., *"Geology, mineralogy and genesis of the Sheikh Ali Copper Massif sulfide ore deposit (southeast of Dolatabad) (in Persian)"*, M.S thesis, University of Tarbiat Modares, Tehran (1998).

[30] Emamalipour A., Masoudi j., *"First case of Cyprus type massive sulfide mineralization in Ghezelbash - Khoy area (in Persian)"*, The first conference of the Iranian Geological Society, Tehran (1997).